

13. Barberio, M., Felli, E., Seyller, E., Longo, F., Chand, M., Gockel, I., Diana, M. Quantitative fluorescence angiography versus hyperspectral imaging to assess bowel ischemia: A comparative study in enhanced reality //Surgery. - 2020. - Т. 168. - №. 1. - С. 178-184.

14. Spott, T., Svaasand, L.O., Anderson, R.E., and Schmedling, P.F. Application of optical diffusion theory to transcutaneous bilirubinometry // Proc. SPIE–Int. Soc. Opt. Eng. – 1998. - Т. 3195. - С. 234.

15. Potapova, E. V., Dremine, V. V., Zherebtsov, E. A., Makovik, I. N., Zherebtsova, A. I., Dunaev, A. V., Muradyan, V. F. Evaluation of microcirculatory disturbances in patients with rheumatic diseases by the method of diffuse reflectance spectroscopy //Human Physiology. - 2017. - Т. 43. - №. 2. - С. 222-228.

APPLICATION OF HYPERSPECTRAL IMAGING TO DETERMINE BLOOD MICROCIRCULATORY DISORDERS IN AN ANIMAL MODEL OF INTESTINAL ISCHEMIA

Shupletsov V.V.¹, Goryunov I.A.¹, Adamenkov N.A.², Mamoshin A.V.^{1, 3}, Potapova E.V.¹, Dremine V.V.¹

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev,

² N.A. Semashko Emergency Medical Care Hospital, Orel, Russia

³ Orel Regional Clinical Hospital



ДИАГНОСТИКА ПАТОЛОГИЙ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНЫХ ПАЗУХ НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КАРТИН РАССЕЯНИЯ СВЕТА В ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ

Брянская Е.О.^{1,*}, Дрёмин В.В.¹, Николаева Ю.О.², Пильников В.Г.², Бакотина А.В.², Дунаев А.В.¹

¹ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия, * bryanskaya@mail.ru

²Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, г. Москва, Россия

Ежегодный рост патологии верхнечелюстных пазух (ВЧП) среди населения [1–3], развитие осложнений [4], вызванных, в том числе, заболеванием COVID-19 [5], является актуальной проблемой современной отоларингологии. Оптические технологии в диагностике различных заболеваний всё чаще находят широкое применение в медицине, что обусловлено в первую очередь их безопасностью и неинвазивностью, а также эргономичностью и портативностью.

Метод цифровой диафаноскопии является одним из методов оптической визуализации и имеет преимущества по сравнению со стандартно применяемыми методами в практике ЛОР-врача. При исследовании патологий ВЧП данным методом исключаются недостатки, характерные для классических методов визуализации, такие как наличие артефактов при ультразвуке исследовании, высокое радиационное воздействие при компьютерной томографии (КТ) и относительно низкая доступность магнитно-резонансной томографии (МРТ). При этом диагностическая информация может быть получена путем анализа регистрируемых картин рассеяния света в режиме реального времени за счет быстрой цифровой обработки регистрируемых данных. Метод цифровой диафаноскопии основан на просвечивании ВЧП безопасным низкоинтенсивным излучением в видимом и ближнем инфракрасном спектральном диапазоне, регистрации картин рассеяния света и цифровой обработке зарегистрированных изображений, является перспективным для выявления патологий ВЧП [6–8]. При этом, за счет своей безопасности и простоты данный метод может выступать как один из методов скрининга населения и использоваться в телемедицине [9].

Таким образом, целью данной работы явилось разработка метода и устройства цифровой диафаноскопии, основанного на регистрации картин рассеяния света, а также разработка алгоритма их количественной оценки для выявления диапазонов расчетных коэффициентов, позволяющих диагностировать наличие патологических изменений в ВЧП.

Для реализации метода цифровой диафаноскопии была разработана экспериментальная система, структурная схема и общий вид которой представлены на рисунках 1 и 2. Экспериментальная система включает светодиодный аппликатор анатомической формы с светодиодами фирмы OSRAM Opto Semiconductors GmbH (Германия) с длинами волн 650 нм (C4L-H12T5) и 850 нм (F3453). При этом, перед помещением аппликатора в ротовую полость производят его дезинфекцию. CMOS-камера позволяет визуализировать картины рассеяния света, которые проходят цифровую обработку на ПК с помощью специально разработанного ПО. Установка также включает блок позиционирования головы пациента, который позволяет исключить артефакты движения [6,10,11].

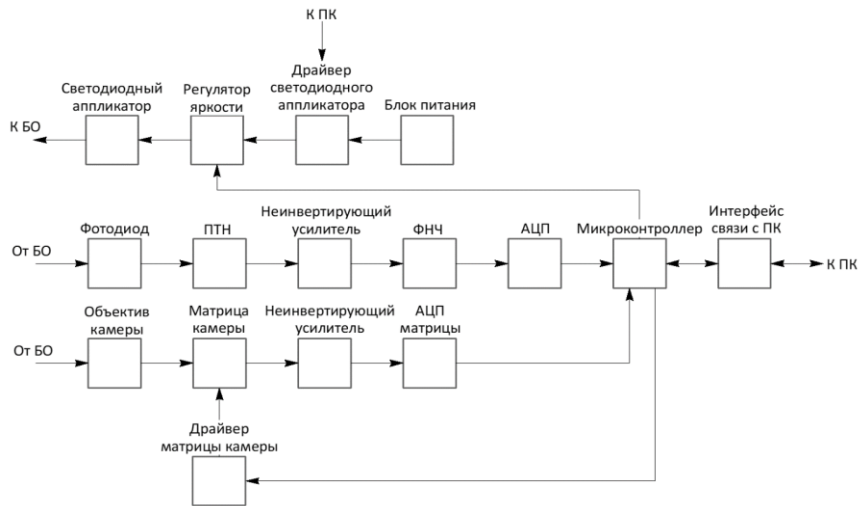


Рисунок 1 – Структурная схема экспериментальной системы

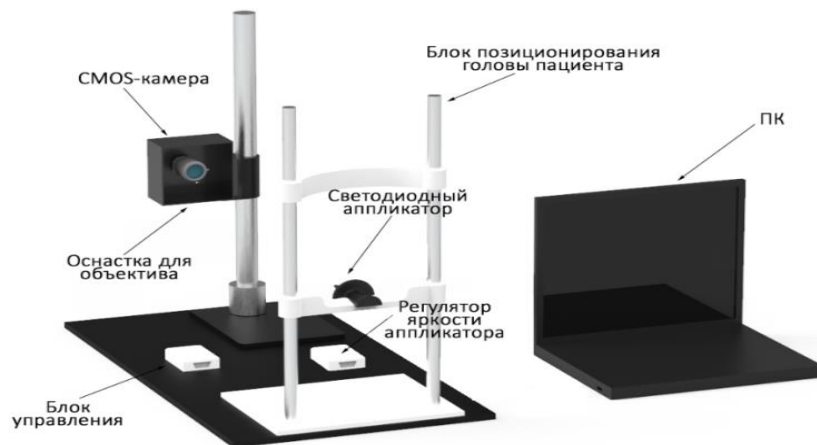


Рисунок 2 – Общий вид (б) экспериментальной системы

Перед началом измерений с помощью блока регулировки яркости светодиодного аппликатора осуществляется выбор значений оптической мощности, исходя из пола исследуемого. Это необходимо, так как в зависимости от пола, возраста исследуемого отличаются размеры биологических структур, входящих в исследуемую область, что в свою очередь влияет на поглощение зондирующего излучения [12–17]. Соответственно, правильный выбор оптической мощности позволяет регистрировать схожие картины рассеяния света у разных пациентов. При исследовании пациентов женского пола данный параметр составляет 35-40 мВт для 650 нм и 25-60 мВт для 850 нм, при исследовании пациентов мужского пола устанавливаются значения оптической мощности, равные 55-60 мВт для 650 нм и 80-84 мВт для 850 нм [18].

С помощью разработанного метода цифровой диафаноскопии, а также реализующей его экспериментальной системы, были проведены исследования условно-здоровых добровольцев и пациентов с различными воспалительными заболеваниями ВЧП.

Группа условно-здоровых добровольцев была сформирована с учетом различий в поле и анатомических особенностях исследуемых, и включала 20 женщин и 10 мужчин возраста от 18 до 27 лет со значением индекса массы тела в пределах нормы, предожирением и ожирением 1 степени. Группу пациентов составили 10 женщин и 11 мужчин возрастом от 14 до 68 лет. При этом исследования с участием пациентов были проведены на базе оториноларингологического отделения Клинического центра челюстно-лицевой, реконструктивно-восстановительной и пластической хирургии Университетской клиники МГМСУ им. А.И. Евдокимова. После получения описания протокола добровольцам было предложено подписать информированное согласие, в котором указывалось их добровольное желание участвовать в исследовании.

На рисунке 3 представлен пример исследования условно-здорового добровольца мужского пола. Как видно из зарегистрированной картины рассеяния света, а также результата цифровой обработки, в области правой и левой ВЧП отсутствовало поглощение света, что позволяет сделать вывод об отсутствии патологического изменения в пазухах. При исследовании пациентов с воспалительными заболеваниями ВЧП дополнительно производились КТ исследования ВЧП для подтверждения результатов цифровой

диафаноскопии. Рисунок 4 иллюстрирует пример исследования пациента с хроническим левосторонним верхнечелюстным синуситом методом цифровой диафаноскопии и результаты КТ исследований.

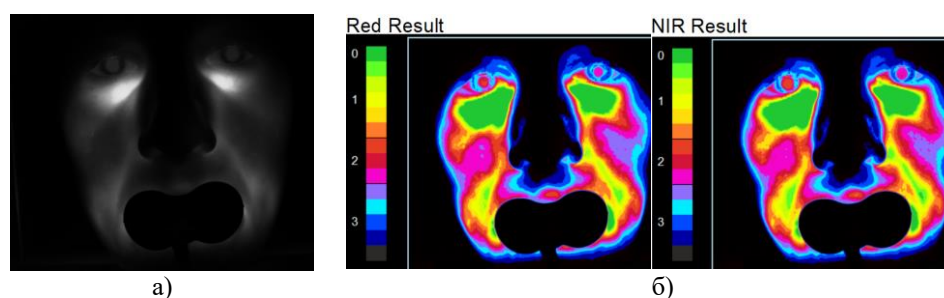


Рисунок 3 – Пример зарегистрированной картины рассеяния света (а) и результат цифровой обработки изображения (б) условно-здорового добровольца мужского пола, где 0 – низкое поглощение света, 3 – высокое поглощение света

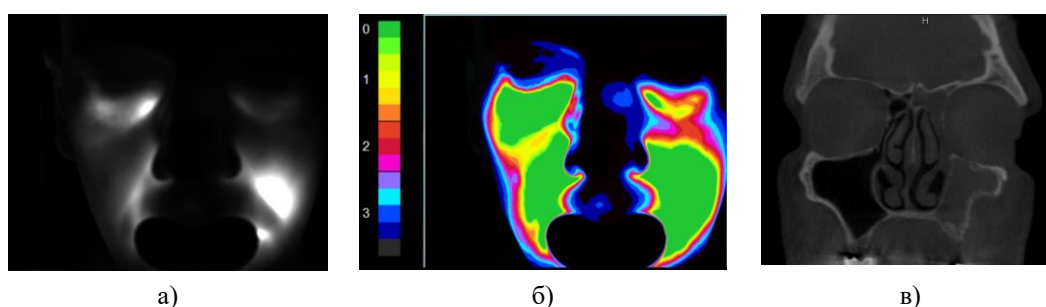


Рисунок 4 – Пример зарегистрированной картины рассеяния света (а); результата цифровой обработки (б), где 0 – низкое поглощение света, 3 – высокое поглощение света; и результата КТ (в) для пациента с хроническим левосторонним верхнечелюстным синуситом

На полученном КТ околоносовых пазух видна картина хронического левостороннего верхнечелюстного синусита, что подтверждает достоверность и точность данных, полученных с помощью метода и устройства цифровой диафаноскопии, а также правильность предварительного диагноза.

С целью формирования диагностических критериев, позволяющих осуществлять выявление патологии в ВЧП, был разработан алгоритм количественной оценки зарегистрированных картин рассеяния света, состоящий из двух этапов. На первом этапе в качестве диагностического критерия определялся параметр интенсивности, характеризующий величину излучения, дошедшую до детектора камеры после поглощения биологическими слоями и различными патологиями. Различия в параметрах в группе пациентов и в группе здоровых были проверены на значимость с помощью критерия Манна-Уитни.

В таблице 1 приведены значения параметра интенсивности и рассчитанные коэффициенты K для исследуемых добровольцев и пациентов с патологиями верхнечелюстных пазух.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов статистической обработки данных

	Параметр интенсивности, %		Коэффициент K , %	
	Норма	Патология	Норма	Патология
Количество обследованных	30	21	30	21
Среднее значение	$98,5 \pm 3,3$	$41,6 \pm 21,7^*$	$1,3 \pm 0,7$	$15,8 \pm 14,6^*$

* – Статистически значимая разница между значениями была подтверждена при $p < 0,05$ по критерию Манна-Уитни

В данной таблице приведены средние результаты рассчитанных коэффициентов для всех групп испытуемых – здоровых и пациентов с патологией. На основании полученных результатов ясно прослеживается граница между здоровой пазухой и пазухой с патологией.

Таким образом, предлагаемый метод цифровой диафаноскопии, основанный на количественной оценке зарегистрированных картин рассеяния света, позволяет проводить быстрый скрининг заболеваемости населения, разделяя группу бессимптомных лиц на два класса в зависимости от отсутствия и наличия воспалительного заболевания в ВЧП. Это подтверждается полученными экспериментальными данными. Прежде всего, зарегистрированные картины рассеяния света четко демонстрируют нарушение симметрии ВЧП, что было принято в качестве диагностического признака. Кроме того, разработанный алгоритм, основанный на количественной оценке зарегистрированных картин рассеяния света, позволяет количественно выявить наличие

патологии в ВЧП. Полученные данные лягут в основу классификационной модели и позволят сформировать методические рекомендации по диагностике патологических изменений в ВЧП методом цифровой диафаноскопии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90147.

Библиографический список

1. Sande, M.A. Acute Community-Acquired Bacterial Sinusitis: Continuing Challenges and Current Management / M.A. Sande, J.M. Gwaltney // *Clin. Infect. Dis.* – Т. 39, № 3. – 2004. – С. 151-158.
2. Рахронова, М. Социально-экономических особенностей больных с заболеваниями полости носа и околоносовых пазух / М. Рахронова, Р. Усмонова // *Мировая наука.* – Т. 1. – 2020. – С. 424-426.
3. Бицаева, А. Анализ госпитализированной заболеваемости и оценка деятельности ЛОР-отделения многопрофильного стационара / А. Бицаева, В. Правдюк, А. Фомина // *Вестник РУДН, серия Медицина.* – Т.4. – 2012. – С. 110-114.
4. Исмаилова, М.Х. Особенности диагностики хронических воспалительных заболеваний придаточных пазух носа / М.Х. Исмаилова, У.М. Салиджанов // *Eur. Res. Innov. Sci. Educ. Technol.* – 2019. – С. 83-86.
5. Yamazaki, Y. Case Report A case of COVID-19 pneumonia complicated with rhinitis/sinusitis who was required 41 days from onset to negative SARS-CoV-2 PCR test / Y. Yamazaki, M. Kosaka, T. Maruno, S. Shimizu, K. Sakaguchi. – 2021.
6. Bryanskaya, E.O. Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopy Technology / E.O. Bryanskaya, I.N. Novikova, V.V. Dremin, R.Yu. Gneushev, O.A. Bibikova, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // *Diagnosics.* – 2021. – Т. 11. – №. 1. – С. 77.
7. Stoelzel K. et al. Digital diaphanoscopy of the maxillary sinuses: A revival of optical diagnosis for rhinosinusitis // *American Journal of Otolaryngology.* – 2020. – Т. 41. – №. 3. – С. 1-7.
8. Брянская, Е.О. Устройство для диагностики патологий околоносовых пазух на основе визуализации и анализа картины рассеяния низкоинтенсивного излучения / Е.О. Брянская, Р.Ю. Гнеушев, И.Н. Маковик, В.В. Дремин, О.А. Бибилова, Б.М. Шураев, А.В. Дунаев, В.Г. Артюшенко // *XIV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии - ФРЭМЭ'2020».* – Т. 2. – 2020. – С. 153-157.
9. Программы скрининга: краткое руководство. Повышение эффективности, максимальное увеличение пользы и минимизация вреда // Европейское региональное бюро ВОЗ. – 2020. – 72 С.
10. Брянская, Е.О. Применение метода цифровой диафаноскопии для диагностики воспалительных заболеваний околоносовых пазух / Е.О. Брянская, И.Н. Маковик, О.А. Бибилова, А.В. Дунаев, О. Минэ, У. Забарило, Е.Г. Феликсбергер, В.Г. Артюшенко. – 2019. – Т. 3. – № 335. – С. 111-120.
11. Брянская, Е.О. Анализ влияния оптических свойств гнойного содержимого на результат диагностики в цифровой диафаноскопии / Е.О. Брянская // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2022. – Т. 2. – № 352. – С. 160-167.
12. Teke, H.Y. Determination of gender by measuring the size of the maxillary sinuses in computerized tomography scans / H.Y. Teke, S. Duran, N. Canturk, G. Canturk // *Surgical and radiologic anatomy.* – 2007. – Т. 29. – №. 1. – С. 9-13.
13. Kang, S. Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults / S. Kang, S.J. Lee, S.J. Ahn, M.S. Heo, T.W. Kim // *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* – 2007. – Т. 131. – №. 4. – С. S74-S81.
14. Wara-aswapati, N. Thickness of palatal masticatory mucosa associated with age / N. Wara-aswapati, W. Pitiphat, N. Chandrapho, C. Rattanayatikul, N. Karimbux // *Journal of periodontology.* – 2001. – Т. 72. – №. 10. – С. 1407-1412.
15. Uchida, Y. Measurement of the maxilla and zygoma as an aid in installing zygomatic implants / Y. Uchida, M. Goto, T. Katsuki, T. Akiyoshi // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* – 2001. – Т. 59. – №. 10. – С. 1193-1198.
16. Xu, X. An anatomical study of Maxillary-Zygomatic complex using three-dimensional computerized tomography-based Zygomatic implantation / X. Xu, S. Zhao, H. Liu, Z. Sun, J. Wang, W. Zhang // *BioMed research international.* – 2017. – С. 8027307.
17. Gracco, A. Quantitative evaluation with CBCT of palatal bone thickness in growing patients / A. Gracco, L. Lombardo, M. Cozzani, G. Siciliani // *Prog Orthod.* – 2006. – Т. 7. – №. 2. – С. 164-174.
18. Bryanskaya, E.O. Brightness controller optimization for the digital diaphanoscopy system [Text] / E.O. Bryanskaya, R.Yu. Gneushev, I.N. Novikova, V.V. Dremin, A.V. Dunaev // *European Conference on Biomedical Optics. – Optical Society of America.* – 2021. – С. ETu2A.3.

DIAGNOSIS OF MAXILLARY SINUS PATHOLOGIES BASED ON QUANTITATIVE ASSESSMENT OF SCATTERING PATTERNS OF LIGHT IN DIGITAL DIAPHANOSCOPY

E.O. Bryanskaya¹, V.V. Dremin¹, Yu.O. Nikolaeva², V.G. Pil'nikov², A.V. Bakotina², V.G., A.V. Dunaev¹

¹R&D Center of Biomedical Photonics, Orel State University, Orel, Russia

²Moscow State University of Medicine and Dentistry n.a. A.I. Evdokimov

Annotation. The work is devoted to the development of the digital diaphanoscopy method for the diagnosis of maxillary sinus pathologies based on the registration of scattering patterns of light and its quantitative assessment, as well as the development of the device implementing this method. The paper presents the results of studies of conditionally healthy volunteers and patients of an otolaryngological profile with a comparison of the results with CT studies. In order to form diagnostic criteria, a quantitative assessment of the registered scattering patterns of light was carried out, which made it possible to divide the condition of the sinuses into two classes: healthy, with the presence of pathology.

**ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ НА АКУСТООПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ**

Зайченко Кирилл Вадимович¹, Гуревич Борис Симхович¹, Рогов Сергей Александрович²,
Кордюкова Анна Алексеевна¹

¹Институт аналитического приборостроения РАН, ²Университет телекоммуникаций им. М.А.Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург kvz235@mail.ru

Введение

В настоящее время вейвлет-анализ широко используется в различных областях, в том числе в разнообразных научных исследованиях. Наиболее развитие получили методы вейвлет-анализа, основанные на цифровых принципах. Однако часто встречаются задачи, требующие обработки извлечения необходимой информации из сигнала в реальном масштабе времени. Такие задачи могут решаться с применением оптических и оптико-электронных методов, например, с помощью оптических вейвлет-процессоров корреляционного типа, снабженных набором вейвлет-фильтров [1-4]. Операции оптической обработки информации в таких случаях включают либо голографическую запись, например, с помощью динамической голографии [2], либо запись изображений с использованием различных типов пространственных модуляторов света, в том числе жидкокристаллических [3, 4].

Одной из важнейших задач биологии и медицинской диагностики является спектральная и вейвлет-обработка электрокардиографических сигналов (ЭКС), которые характеризуют электрическую активность различных клеток, тканей и органов живого организма, в том числе сердечно-сосудистой системы, головного мозга, центральной нервной системы и мышц человека. Важнейшими являются две особенности ЭКС – низкие частоты (от единиц до сотен и тысяч Гц) и сравнительно низкие значения амплитуды (единицы - сотни мкВ). При этом отношение сигнал/шум зачастую оказывается невысоким и приходится применять специальные меры для выделения полезного сигнала на фоне шумов и помех.

Решение поставленной задачи

Большой интерес представляет использование акустооптических (АО) устройств для обработки ЭКС [5, 6]. Поскольку эти устройства работают на высоких частотах (порядка десятков – сотен МГц), то ввод ЭКС в акустооптическую систему можно осуществлять, с помощью модуляции высокочастотной несущей НЧ-сигналом. В акустооптических корреляторах и анализаторах спектра с временным интегрированием на их выходе может быть получена огибающая корреляционной функции или спектр низкочастотной модулирующей функции [6, 8]. Достоинством схем с временным интегрированием является возможность обработки протяженных сигналов, какими часто оказываются записи ЭКС. Пример такой схемы, известной как схема конвольвера Монтгомери [9], в дальнейшем использованной для спектрального анализа сигналов, показан на рисунке 1.